

требует длительного времени (все время промывки – 24 часа), проводится параллельно с расхолаживанием блока и не задерживает ППР;

В дальнейшем, схема химпромывки ПГ Н-272 будет модернизироваться, а также будут оптимизированы параметры ее проведения с учетом опыта эксплуатации энергоблока.

Список использованных источников

1. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем: учеб. пособ. В 2 ч. Ч. 1 / А. И. Бельтюков, А. И. Карпенко, С. А. Полуяков, О. Л. Ташлыков, Г. П. Титов, А. М. Тучков, С. Е. Щеклеин; под общ. ред. С. Е. Щеклеина, О. Л. Ташлыкова. Екатеринбург : УрФУ, 2013. 548 с.

УДК 662.76

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ ПОДАЧИ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ В ГАЗИФИКАТОР

USE OF CARBON DIOXIDE FOR SUPPLY OF PULVERIZED COAL INTO THE GASIFIER

Смирнов А. И., Богатова Т. Ф.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
t.f.bogatova@urfu.ru

Smirnov A. I., Bogatova T. F.

Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе рассмотрены технологии подготовки и подачи топлива в газификатор. В результате анализа схем подготовки и подачи топлива в реактор в виде водоугольной суспензии (ВУС), суспензии уголь-СО₂ по технологии Phase Inversion-based Coal-CO₂

Slurry (PHICCOS) и сухой пылеугольной смеси получены данные по эффективности их применения.

Abstract: The technologies of preparation and supply of fuel into the gasifier are considered in this work. As a result of the analysis of the systems of fuel preparation and supply into the reactor in the form of coal-water slurry (CWS), coal-CO₂ slurry on the base of Phase Inversion-based Coal-CO₂ Slurry technology (PHICCOS) and dry pulverized coal the data on efficiency of their application are obtained.

Ключевые слова: *газификация; поточный газификатор; водоугольная суспензия (ВУС); уголь-CO₂ суспензия; химический КПД.*

Key words: *gasification; entrained-flow gasifier; coal-water slurry (CWS); coal-CO₂ slurry; cold gas efficiency.*

В современных коммерческих газификаторах применяется два основных способа подачи топлива в газификатор – мокрый с подачей угольной пыли в смеси с водой в виде водоугольной суспензии (ВУС) и сухой с использованием в качестве транспортирующего агента азота. Поточные газификаторы с мокрой топливоподачей являются наиболее компактными, так как подача топлива в виде ВУС возможна при высоких давлениях в реакторе (до 10 МПа), что позволяет уменьшить объемные расходы рабочего тела и габариты газификатора и вспомогательных систем. Но калорийность получаемого при этом синтез-газа на 15–30 % ниже, чем при сухой подаче топлива, а химический КПД составляет 70–76 %. Применение сухой подачи топлива в газификатор позволяет увеличить химический КПД на 4,5–10 %, снизить потребление кислорода на 20–25%, расширить возможности использования низкосортных углей [1]. Однако максимальное давление в газификаторе с сухой подачей лимитируется уровнем в 4–6 МПа. Это связано с проблемой подачи (вдува) мелкодисперсного топлива в реактор высокого давления.

В качестве перспективного способа в настоящее время рассматривается подача топлива в виде суспензии уголь-CO₂.

Диоксид углерода в IGCC с системами CCS подлежит улавливанию и захоронению, использование же его в качестве транспортирующего агента позволяет частично утилизировать CO_2 в цикле. CO_2 обладает рядом преимуществ – низкая вязкость ($0,0712 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$), низкая теплоемкость ($c_p = 2,85 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ при $20 \text{ }^\circ\text{C}$) и низкая теплота парообразования ($155 \text{ кДж}/\text{кг}$ при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $p = 5,6 \text{ МПа}$), соответственно тепловая нагрузка на газификатор при использовании в качестве транспортирующего агента CO_2 меньше, чем при использовании воды. Кроме того, CO_2 не является балластом, как в случае использования азота, а работает как газифицирующий агент.

Перспективный способ получения суспензии уголь- CO_2 , известный как Phase Inversion-based Coal- CO_2 Slurry (PHICCOS), рассмотрен в [2]. Ключевым моментом этого способа является приготовление уголь-углекислотной суспензии через стадию приготовления обычной ВУС, рис. 1. Затем ВУС смешивается с жидким CO_2 , обладающим гидрофобными свойствами, который адсорбируется на поверхности углеродсодержащих частиц, вытесняя воду. Это давно известное явление избирательной концентрации или гидрофобного замещения традиционно изучалось для обеззоливания и осушения углей. В результате взаимодействия CO_2 и угольных частиц происходит инверсия (разделение) фаз: малозольные гидрофобные угольные частицы концентрируются в более легкой фазе CO_2 , тогда как высокозольные гидрофильные частицы аккумулируются в водной фазе. Эти две фазы могут непрерывно отводиться соответственно из верхней и нижней частей смесительной/осадочной камеры. Такое обогащение топлива за счет снижения его зольности и влажности в результате инверсии фаз является преимуществом данного способа приготовления суспензии уголь- CO_2 .

Результаты исследований на базе моделирования IGCC с улавливанием CO_2 , с одностадийным поточным газификатором с водяным квенчингом производительностью по углю (каменный уголь $A^r = 11 \text{ } \%$, $W^r = 11 \text{ } \%$; бурый уголь $A^r = 15 \text{ } \%$, $W^r = 36 \text{ } \%$) 5000–10000

т/сут показали [2], что степень конверсии углерода при технологии PHICCOS ниже, чем для ВУС – на 9 % для каменного и на 13 % для бурого угля. Это обусловлено более низкими скоростями конверсии топлива в среде CO_2 . При этом повышение температуры на выходе из реактора (PHICCOS HT) на 112 °С для каменного и на 167 °С для бурого угля позволило обеспечить такую же степень конверсии, как при сжигании ВУС (98 % для каменного и 99,96 % для бурого угля).

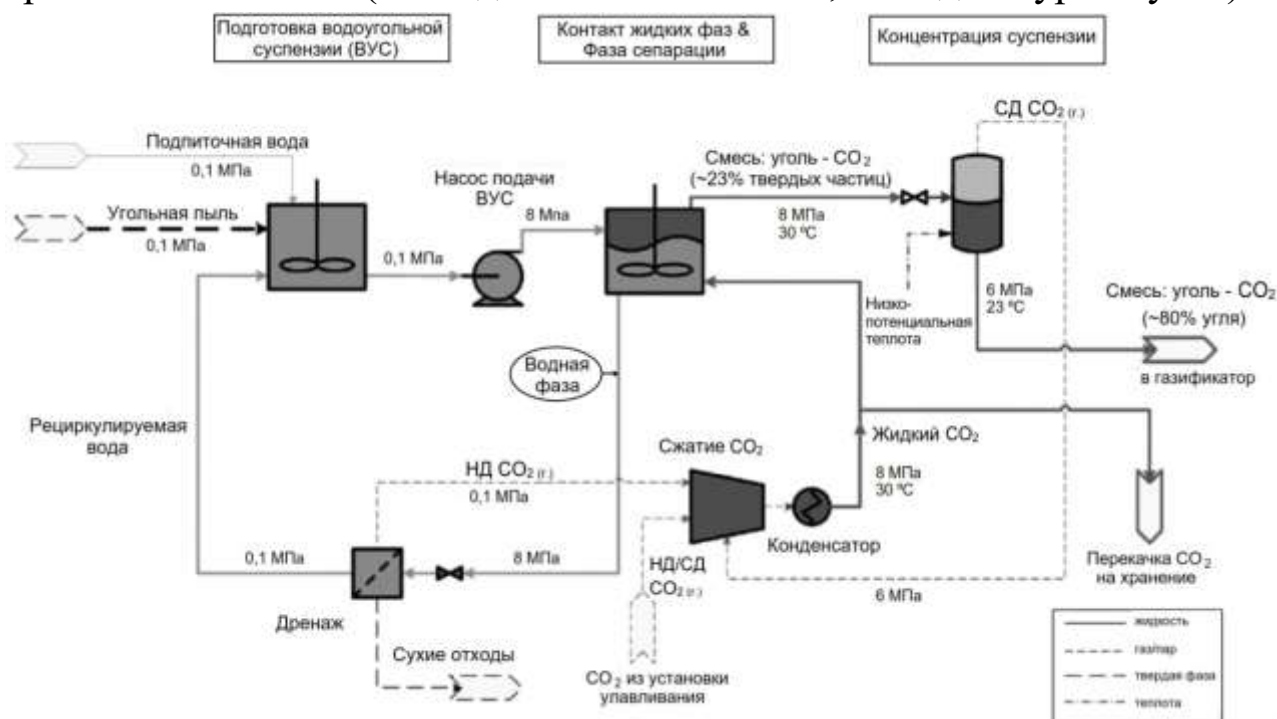


Рис. 1. Технологическая схема подготовки и подачи суспензии уголь- CO_2 PHICCOS

Химический КПД при использовании технологии PHICCOS HT при газификации бурого угля на 20 % выше, чем для ВУС, и на 8 % выше, чем для сухой подачи топлива, рис. 2. Для каменного угля этот выигрыш меньше – на 7 % по сравнению с ВУС и практически такой же, как при сухой топливоподаче.

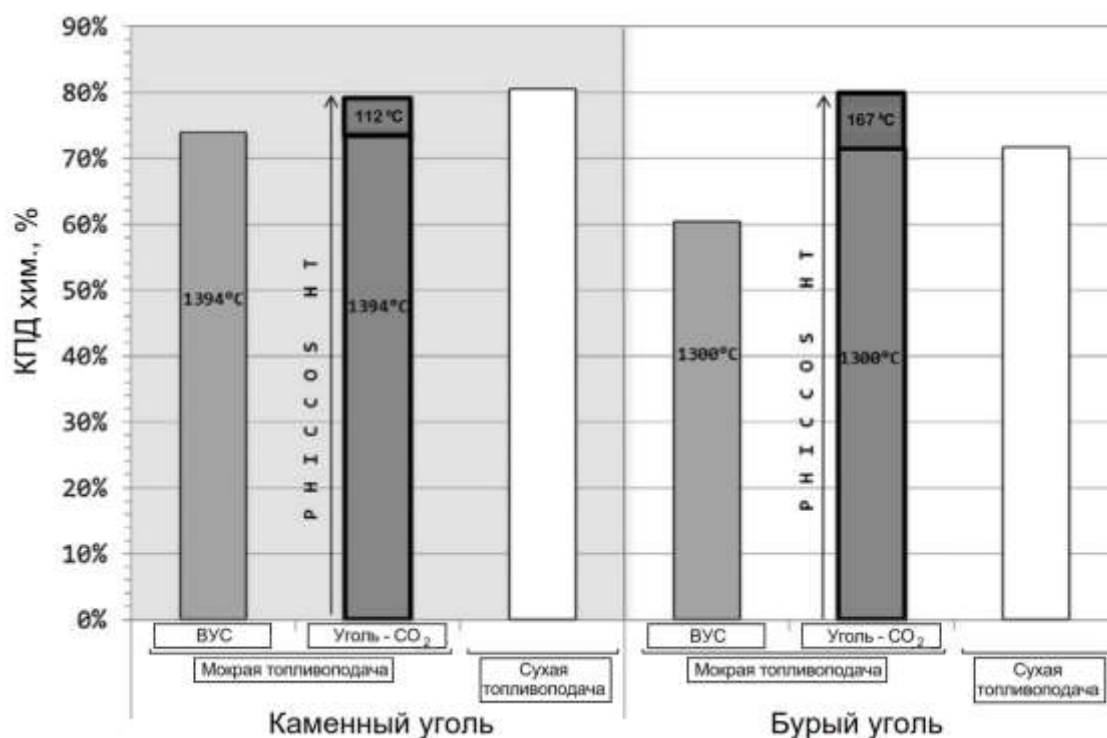


Рис. 2. Химический КПД при различных способах топливоподачи

Газификация суспензии уголь-СО₂ снижает потребность в кислороде на 23 % для каменного и на 41 % для бурого угля по сравнению со сжиганием ВУС, так как в последнем случае требуется значительное количество теплоты на испарение влаги и, соответственно, кислорода для поддержания необходимого температурного уровня. Даже при повышенном температурном уровне в реакторе (PHICCOS NT) расход кислорода все равно остается ниже – на 14 % и 31 % соответственно. Хотя на испарение сжиженного диоксида углерода тоже необходима теплота, но ее затраты значительно меньше благодаря более низким удельной теплоемкости и теплоте испарения.

Следует учитывать, что, благодаря эффекту обогащения угля при инверсии фаз, в газификатор подается малозольное топливо, что повышает эффективность газификации, но этот эффект несколько нивелируется необходимостью поддержания более высокого температурного уровня для обеспечения высокой степени конверсии.

В целом для IGCC на буром угле, с системой подачи суспензии уголь-СО₂ PHICCOS NT и улавливанием СО₂ КПД нетто на 7 % выше, чем при подаче в виде ВУС. В случае использования каменного угля разницы практически нет.

Таким образом, возможность обеспечения высокого давления, использования высокочастотных углей, умеренная стоимость, хорошие технико-экономические показатели обеспечивают хорошие перспективы коммерческого применения технологии PHICCOS для IGCC.

Список использованных источников

1. Рыжков А. Ф., Богатова Т. Ф., Цзэн Линьянь, Осипов П. В. Развитие поточных газификационных технологий в Азиатско-Тихоокеанском регионе (обзор) // Теплоэнергетика. 2016. № 11. С. 40–50.
2. Botero C., Field R. P., Herzog H. J., Ghoniem A. F. The Phase Inversion-based Coal-CO₂ Slurry (PHICCOS) feeding system: Technoeconomic assessment using coupled multiscale analysis // International Journal of Greenhouse Gas Control. 2013. № 18. P. 150–164.

УДК 662.76

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛА ГТУ

POSSIBILITY OF INCREASE IN THE GTU CYCLE EFFICIENCY

Смирнов Д. К., Смирнов А. И., Богатова Т. Ф.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,

DenisSmirnovFame@gmail.com

Smirnov D. K., Smirnov A. I., Bogatova T. F.

Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе проведен анализ возможности повышения эффективности ГТУ. Рассмотрено влияние температуры продуктов сгорания на входе в ГТ, степени повышения давления на выходную мощность и термический КПД ГТ.